
B 354997
-1 (tekst)
IV


V
B
J
C
B 354997
IV

COURS

DE

MATHÉMATIQUES

A L'USAGE

DE L'INGÉNIEUR CIVIL.

Imprimerie de BACHELIE[R]
rue du Jardinet, n° 12.

COURS

DE

MATHÉMATIQUES

A L'USAGE

DE L'INGÉNIEUR CIVIL,

PAR J. ADHÉMAR.

Géométrie Descriptive.

COUPE DES PIERRES.

A PARIS,

CHEZ
- BACHELIER, Libraire pour les Sciences, quai des Augustins, n° 55;
- CARILIAN-GOEURY, Libraire des Corps Royaux, des Ponts-et-Chaussées et des Mines, quai des Augustins, n° 41.
- L'AUTEUR, rue Jean-de-l'Épine, n° 19.

1834

AVERTISSEMENT.

L'art de la construction en pierres comprend deux parties :

1°. La détermination de la forme que l'on doit donner au monument que l'on veut construire ;

2°. La disposition et l'exécution de chacune des pierres qui doivent concourir à l'ensemble de l'édifice.

La forme des différentes parties qui composent un monument dépend des lois de l'équilibre.

Dans la détermination de cette forme, on doit avoir égard non-seulement aux pressions que les pierres exercent les unes sur les autres, mais encore aux efforts que le monument doit supporter d'après sa destination.

Cette partie de l'art de construire est du ressort de l'architecte, qui, par ses plans, coupes et élévations, doit indiquer au constructeur l'épaisseur et les dimensions de chacune des parties.

C'est aux applications de la *Statique* que je renverrai le lecteur pour la détermination des conditions qui satisfont le mieux aux lois de l'équilibre ; et en admettant dès à présent comme conséquence de ces lois, la forme qui convient le mieux aux diverses parties d'un édifice, nous nous proposons de donner à chaque pierre la figure et la dimension qu'elle doit avoir suivant la place qu'elle doit occuper dans l'ensemble.

Je dois encore supposer que le lecteur a lu la Géométrie descriptive et qu'il en a fait toutes les épures.

Ce travail préparatoire, loin d'augmenter le temps nécessaire pour bien savoir la Coupe des pierres, en facilite au contraire l'étude, en permettant d'établir plus d'analogie dans les idées; et, quelque singulier que cela paraisse, il est certainement moins long d'apprendre la Géométrie descriptive et la Coupe des pierres, que cette dernière partie toute seule.

Je renverrai donc à la *Géométrie descriptive* pour l'explication de ce que l'on entend par *projections de points, de lignes et de corps solides, traces de plans et leurs intersections*, pour le tracé des *lignes courbes* de toute espèce, ainsi que pour la définition des *surfaces courbes* et de leur *génération, l'intersection* de ces surfaces et la construction de leurs *plans tangens*.

Le lecteur fera bien aussi de s'exercer à tailler en plâtre les modèles des pierres qui lui présenteront quelques difficultés.

Je ne parlerai pas des divers outils ni de la manière de s'en servir : on apprendra plus, sur ce sujet, dans un chantier que dans aucun livre.

Nous allons dès à présent nous occuper de l'exécution des dessins ou épures nécessaires pour le tracé des diverses formes de pierres. Cette partie de la construction se nomme l'*appareil*, et l'on donne le nom d'*appareilleurs* à ceux qui en sont chargés.

Nota. Les nombres placés en tête et du côté opposé au numéro de chaque page, indiquent la planche. Les numéros des figures sont indiqués dans le texte. Enfin les nombres placés seuls entre parenthèses sont des renvois aux articles.

Le numéro de chaque article est au commencement de l'*alinéa*.

COUPE DES PIERRES.

LIVRE PREMIER.

CHAPITRE PREMIER.

DES MURS.

1. Les murs sont employés quelquefois pour clore des espaces découverts ou pour soutenir des terres et empêcher leur éboulement; d'autres fois, ils servent à supporter les voûtes en pierres ou les combles en charpente ou en fer d'un édifice.

C'est l'usage auquel un mur est destiné qui doit déterminer son plus ou moins de solidité.

La solidité d'un mur ne dépend pas seulement de la grosseur et de la qualité des pierres employées dans sa construction, mais encore de la bonne disposition de ces pierres entre elles.

2. Les pierres se formant dans l'intérieur de la terre par couches horizontales superposées, on les extrait sous la forme de parallélépipèdes rectangles. Les deux faces, qui dans la carrière étaient placées horizontalement, se nomment *lits de carrière*.

3. Quelle que soit la place qu'une pierre doive occuper dans un édifice, il faut ſaire en sorte que les lits de carrière soient,

autant que possible, perpendiculaires à la direction de la force qui agit sur elle, afin de comprimer par la pression les diverses couches dont cette pierre se compose.

4. On nomme *lit de pose* d'une pierre la face suivant laquelle elle doit s'appliquer sur les pierres qui ont été posées avant elle. Assez souvent, surtout dans les murs, le lit de carrière est en même temps le lit de pose, et doit être placé horizontalement. Chaque rang de pierre se nomme une *assise*.

5. On nomme *paremens* celles des faces d'une pierre qui restent à découvert et contribuent par conséquent à former la surface du mur.

6. Si l'on a des pierres assez grandes pour que leur largeur soit égale à l'épaisseur du mur, on les disposera comme on le voit dans la figure 1re (*Pl.* 1). Les pierres qui ont deux paremens dans le sens de leur longueur se nomment *parpaings;* elles se nommeraient *boutisses*, si les paremens étaient aux extrémités, que l'on nomme aussi *têtes* de la pierre. Enfin, si la pierre n'avait qu'un parement, on lui donnerait le nom de *carreau.* Dans la figure 2, la pierre *a* est une boutisse et la pierre *b* est un carreau.

7. Ainsi la figure 1re représente un mur composé de parpaings. Dans la figure 2, les assises sont alternativement composées de carreaux et de boutisses, et dans la figure 3, il n'y a que des carreaux.

8. Mais, dans tous les cas, on doit faire en sorte que les *joints*, ou faces verticales suivant lesquelles se touchent deux pierres contiguës d'une même assise, correspondent, autant que possible, au milieu d'une pierre de l'assise inférieure. Je dis autant que possible, parce qu'il serait souvent trop coûteux de satisfaire rigoureusement à cette condition.

Mur droit.

9. On nomme *mur droit* celui qui est compris entre deux

plans verticaux parallèles entre eux. La figure 4 représente un mur droit projeté sur un plan perpendiculaire à sa longueur.

Toutes les pierres de ce mur sont des parallélépipèdes rectangles égaux entre eux et disposés comme dans la figure 1re. Les deux lignes *ab*, *bc*, représentent deux des dimensions de la pierre; la troisième dimension *b′d′* sera donnée par la projection horizontale.

10. Pour exécuter cette pierre (*fig.* 5), on choisira un bloc capable de la contenir, puis après avoir dressé une première face *a″b″d″e″*, on en taillera une seconde *a″b″c″h″*, faisant un angle droit avec la première. Cela étant fait, on tracera les deux lignes *b″d″*, *b″c″*, perpendiculaires à l'arète *a″b″*, ce qui déterminera la *tête* ou *parement c″b″d″*. Le parement opposé sera déterminé par les arètes *a″h″*, *a″e″*. Enfin, en portant les dimensions de la pierre sur les arètes correspondantes, il sera facile de tailler les deux dernières faces.

Mur en talus.

11. Les murs en talus (*fig.* 6) sont destinés à soutenir des terrains et à empêcher leur éboulement; c'est pourquoi on leur donne ordinairement plus de largeur vers leur base, surtout du côté opposé à celui où s'exerce la pression.

12. Si le talus était peu considérable, on pourrait prolonger les coupes horizontales telles que *ab*, jusqu'à la face en talus. Mais il résulterait de là que le lit de pose ferait avec le talus deux angles inégaux, dont un serait aigu, ce que l'on doit surtout éviter dans la coupe des pierres. Pour obvier à cet inconvénient, on prolonge la coupe horizontale du lit de pose, seulement jusqu'à 5 ou 6 centimètres du talus, puis à partir de ce point, on dirige une coupe *bc* perpendiculaire à la face du talus. Ce moyen d'éviter l'angle aigu présente deux inconvéniens: le premier, c'est de diminuer l'éten-

due de la surface horizontale suivant laquelle chaque pierre s'appuie sur la pierre inférieure ; le second inconvénient consiste à faire toucher les deux pierres suivant une face brisée, et l'on conçoit que si l'angle obtus saillant *abc* n'est pas taillé parfaitement égal à l'angle rentrant dans lequel il doit s'appliquer, la pierre ne posera pas également dans toute son étendue, et le tassement provenant de la pression des parties supérieures de l'édifice, pourra la faire rompre ou glisser sur la partie inclinée du lit de pose. Nous reconnaîtrons souvent par la suite qu'une irrégularité dans l'ensemble ou dans quelques parties d'un monument entraîne nécessairement, comme conséquence, quelque irrégularité dans la forme des pierres qui le composent, et le constructeur doit faire tous ses efforts pour éviter ces irrégularités, ou du moins, pour en diminuer le nombre et en neutraliser les effets.

13. En général on doit, dans la Coupe des pierres,

1°. *Augmenter,* autant que cela est possible, sans nuire à la disposition générale et à l'élégance de l'édifice, *les surfaces planes, ou joints, suivant lesquelles les pierres doivent se toucher ;*

2°. *Éviter de faire toucher ces mêmes pierres suivant des surfaces brisées ou courbes ;*

3°. Enfin, *faire, autant que l'on pourra, les coupes perpendiculaires entre elles, afin d'éviter les angles aigus.* Mais ce n'est souvent qu'aux dépens de l'une de ces conditions que l'on peut satisfaire aux autres. On doit s'exercer à choisir dans chaque cas le parti qui présente le moins d'inconvéniens.

14. Pour éviter l'angle aigu que la face du talus fait avec la surface du sol, on pourra, au point *d*, couper verticalement la partie de la pierre qui entre dans la terre, ou bien on augmentera la largeur de la pierre d'une quantité *de*, puis on taillera le petit plan vertical *eu*. Le premier moyen emploiera moins de pierre, le second donnera au mur plus de solidité en élargissant sa base.

15. Pour exécuter la première pierre du mur en talus (*fig.* 6), on dressera d'abord le lit de pose $s''u''n''m''$ (*fig.* 7), que l'on fera égal au rectangle $s'u'n'm'$, qui représente la projection horizontale de la pierre que l'on veut tailler; on taillera ensuite les deux faces $s''u''p''$, $m''n''q''$ perpendiculaires au lit de pose. Puis, après avoir construit bien exactement en lattes ou en tôle la figure *abcdeus* qui représente le profil de la pierre, on l'appliquera sur la face $s''u''p''$, en faisant coïncider *su* avec $s''u''$. On tracera sur cette face le contour $a''b''c''d''e''u''s''$, et l'on fera la même opération sur la face opposée. Enfin, on abattra toutes les parties qui empêcheraient la règle de s'appuyer sur les contours de ces deux figures, et la pierre sera taillée.

On donne le nom de *panneau* aux figures découpées que l'on applique sur la pierre pour en tracer le contour.

Les autres pierres ne présenteront pas plus de difficultés.

Mur biais.

16. Un mur biais (*fig.* 8) est celui qui est compris entre deux plans verticaux qui ne sont pas parallèles entre eux.

Les lits de pose de ce mur seront horizontaux dans toute leur étendue; mais comme les deux faces verticales du mur ne sont pas parallèles, les coupes verticales perpendiculaires à l'une de ces faces feraient des angles aigus avec l'autre face, et pour éviter cela, on conduira les joints verticaux $a'b'$, $m'n'$, jusqu'à une certaine distance de la face opposée du mur, puis on dirigera les coupes $b'c'$, $n'u'$, perpendiculaires à cette face.

17. Pour tailler une de ces pierres, on fera (*fig.* 9) le lit de pose $p''q''v''m''$, égal au rectangle $p'q'v'm'$, qui contient la projection horizontale de la pierre, puis on taillera la face $p''m''k''h''$ d'équerre sur le lit de pose, telle que $p''h''$ soit égal à la hauteur *as*. Enfin, on fera la face $h''k''x''z''$ d'équerre sur $p''m''k''h''$, et par conséquent parallèle au lit de pose. On construira ensuite le panneau $a'b'c'u'n'm'$ que l'on appliquera sur le lit de pose et sur la face qui lui est opposée; puis,

après avoir tracé sur une des faces le contour du panneau, on abattra toutes les parties excédantes, et la pierre sera taillée. On opérera de même pour les autres pierres.

Mur biais et en talus.

18. La figure 10 représente dans un même mur la combinaison des deux exemples précédens. On a projeté le mur sur un plan vertical perpendiculaire à la face du talus, qui, par conséquent, est représentée sur cette projection par la ligne droite *dy*. La face verticale du mur a pour projection le rectangle *pqox*.

19. On taillera d'abord la pierre comme s'il s'agissait d'un mur biais, en appliquant le panneau $a's'u'n'm'p'$ sur le lit de pose et sur la face opposée ; puis après avoir abattu la pierre excédante, on découpera le panneau *zbcdeus*, dont on tracera le contour sur les deux faces $s''u''z''$, $m''n''x''$. Après quoi, il n'y aura plus aucune difficulté.

Mur de rampe ou rampant.

20. Le nom que l'on donne aux *murs de rampe* indique assez l'usage auquel ils sont destinés. Il est facile de reconnaître par la figure 11 que ces sortes de murs ne diffèrent de ceux en talus, que par une plus grande inclinaison.

21. Pour tracer la pierre (*fig.* 13), il suffira d'appliquer le panneau *abcdeh* sur les deux faces ou paremens qui correspondent aux faces du mur.

Coins ou encognures.

22. Lorsque deux murs se rencontrent pour former le coin ou encognure d'un bâtiment, on doit disposer les pierres comme on le voit (*fig.* 14), en plaçant alternativement les longueurs des pierres parallèlement à l'une et l'autre face du coin.

La figure 15 est la projection horizontale de l'encognure.

Si les deux murs devaient se rencontrer suivant un angle aigu, il faudrait couper cet angle comme on le voit par la projection horizontale (*fig.* 16).

La figure 17 représente la disposition des pierres.

Enfin, si l'on avait deux murs en talus formant un angle aigu, on ferait une coupe en talus comme dans la figure 18.

Si l'on a bien compris ce qui précède, on n'éprouvera pas de difficulté pour tailler ces sortes de murs.

Je ne parlerai pas non plus de la combinaison de deux murs dont les talus seraient différemment inclinés. Les exemples de raccordement que nous verrons par la suite familiariseront suffisamment le lecteur avec ces difficultés, que je me contenterai d'indiquer ici comme sujets d'exercice.

CHAPITRE II.

PLATE-BANDES.

23. Lorsque la partie supérieure d'une porte ou d'une fenêtre est plane et horizontale, on lui donne le nom de *plate-bande.*

24. Les deux *murs* verticaux sur lesquels pose la plate-bande se nomment *pieds droits* ou *jambages.* On donne le nom de *tableaux* aux faces des jambages qui forment l'ouverture de la porte.

Si la largeur est peu considérable, on pourra former la plate-bande d'une seule pierre que l'on posera par ses deux bouts sur les parties supérieures des jambages. Par ce moyen, la pression agira dans le sens de la longueur des pieds droits, ce qui est conforme aux lois de l'équilibre (*Statique*); mais d'un autre côté, la plate-bande n'étant soutenue que par les extrémités, risquera de se rompre dans son milieu. Il faudra donc lui donner le plus d'épaisseur verticale qu'il sera possible, éviter de charger la partie qui est au-dessus de

l'ouverture de la porte et charger au contraire les extrémités de la pierre qui sont posées sur les pieds droits, l'expérience ayant fait reconnaître que la plate-bande résistera mieux dans cet état.

25. Lorsque la plate-bande aura trop d'étendue pour qu'on puisse la faire d'une seule pierre, on construira sur le triangle équilatéral *abc* (*fig.* 19, *Pl.* 2); puis après avoir partagé le côté horizontal *ab* en un nombre impair de parties égales, on mènera par chaque point de division des droites, telles que *de*, dont les directions prolongées passeraient par le point *c*. Ces droites représenteront les coupes suivant lesquelles doivent être taillées les pierres de la plate-bande.

Cette disposition permettra évidemment de placer le lit de carrière dans une position telle, que les couches dont se compose la pierre seront pressées les unes contre les autres, tandis que dans le cas où la plate-bande serait formée d'une seule pierre, le lit de carrière placé horizontalement sur les pieds droits ne serait pas soutenu dans la partie correspondante à l'ouverture de la porte.

26. Lorsque la plate-bande est ainsi composée de plusieurs pierres, chacune d'elles se nomme *claveau;* celle qui correspond au milieu de la porte se nomme la *clé*. On donne le nom de *coupes* aux faces inclinées suivant lesquelles les claveaux se touchent; l'*intrados* est la surface apparente qui forme le dessous de la plate-bande, et la *tête du claveau* est le polygone, tel que *aedhus*, qui fait partie de la face apparente du mur dans lequel la porte est percée. Enfin, on appelle *sommiers* les pierres qui forment la partie supérieure des jambages et sur lesquelles s'appuie la plate-bande.

27. Dans l'appareil que nous venons d'indiquer, il est évident que chaque pierre, par la nature de sa forme, agit comme le ferait un coin, pour écarter les deux pierres entre lesquelles elle se trouve placée. Mais comme cette action est d'autant plus énergique que les coupes se rapprochent da-

vantage de la position verticale, il en résulte que la plate-bande tend à se rompre vers son milieu, et que la clê s'enfonçant, les parties qui sont à droite et à gauche ne sont plus soutenues, et, tournant autour des points *a* et *b*, exercent sur les pieds droits une pression oblique qui tend à la renverser en dehors.

28. Pour diminuer ces effets autant que possible, on donnera aux coupes de la clé le plus de longueur que l'on pourra, en augmentant s'il le faut, à ce point, l'épaisseur de la plate-bande ; on disposera au-dessus des arcs en pierre ou en brique, dont l'effet sera de supporter la pression des parties supérieures de l'édifice, et de détourner cette pression des points qui correspondent à l'ouverture de la porte ; enfin par des crampons ou armatures en fer, on reliera entre elles les pierres de la plate-bande, de manière qu'elles ne fassent en quelque sorte qu'un seul morceau. Mais ces moyens, qui dépendent des lois de la Mécanique, seront traités dans la Construction générale et dans l'Application de la Statique à l'équilibre des voûtes. Nous nous bornerons ici, comme je l'ai dit plus haut, à la construction de l'épure et au tracé des lignes nécessaires pour la détermination de toutes les coupes.

29. Pour empêcher la première pierre de la plate-bande de glisser sur le sommier du pied droit, on brisera la coupe *as* par le plan horizontal *su*. La figure de cette coupe lui a fait donner le nom de *crossette*. On donne aussi le nom de *pierres en état de charge* à celles qui sont disposées de cette manière. Il est facile de voir que la partie *dhus* sera maintenue sur le sommier par la pression des pierres supérieures. Aussi augmenterait-on la solidité de la plate-bande en prolongeant la seconde pierre de manière à former crossette sur la première, etc. Il ne faudrait pas cependant donner trop de longueur aux parties horizontales des pierres en état de charge, parce qu'elles résisteraient moins bien à l'inégalité de pression produite par le tassement.

30. Pour éviter les angles aigus que les coupes feraient avec

l'intrados du tableau, on fera par les points de division de cet intrados des coupes verticales, telles que *vz*, jusqu'à la rencontre d'une ligne horizontale *si* (*fig.* 19), ou jusqu'à un arc de cercle *pq* (*fig.* 20), décrit du point *c* comme centre. Le reste des coupes sera, comme précédemment, dirigé vers le point *c*.

La figure 22 représente la première pierre à droite de la plate-bande (*fig.* 19).

31. On peut encore, par la coupe même de la pierre et sans recourir à des moyens étrangers, augmenter l'adhérence des claveaux. On fera les coupes brisées comme le représente la ligne *mnyr*, de manière que chaque pierre s'accrochera sur la pierre adjacente par une petite crossette *mny*. L'usage n'est pas cependant de donner cette forme aux coupes de la clé, l'expérience ayant fait reconnaître que dans la rupture des plate-bandes la clé tend moins à glisser entre les pierres adjacentes qu'à les entraîner dans sa chute, en les faisant tourner autour des angles de la porte.

La figure 23 fera concevoir la forme de la première pierre à droite de la plate-bande (*fig.* 20).

Si l'on veut éviter l'aspect désagréable produit dans la face apparente du mur par la coupe brisée *mnyr*, on ne fera cette coupe que dans une partie de l'épaisseur du mur, comme on le voit par la figure 23, qui représente le creux dans lequel doit venir se placer la partie correspondante en relief de la pierre adjacente.

Les figures 21, 24, 25 et 26, représentent des coupes destinées à produire le même résultat. La partie saillante de la figure 26 doit occuper le creux de la figure 25.

On peut aussi remplacer la petite ligne droite *bc* par un arc décrit du point *a* comme centre avec un rayon égal à *ab*.

La taille de ces pierres ne présentera aucune difficulté. Ainsi, par exemple, pour celle représentée (*fig.* 24), on découpera le panneau de tête *acbeuvzx* que l'on appliquera sur les faces parallèles et opposées d'une pierre dont la longueur doit

être égale à l'épaisseur du mur dans lequel la porte est percée ; puis on abattra toutes les parties excédantes, après quoi il sera facile de tracer le contour de la partie saillante *acb*.

Les parties creuses des pierres adjacentes ne présenteront pas plus de difficultés.

32. Dans la figure 20, il y a tout autour de la porte un petit renfoncement rectangulaire auquel on donne le nom de *feuillure*. On taillera d'abord la pierre sans y avoir égard, puis deux droites *ac*, *co* (*fig.* 23), que l'on tracera sur chaque côté de la pierre détermineront le contour de la feuillure.

Voûtes plates.

33. Si l'on suppose une plate-bande prolongée parallèlement aux coupes des claveaux, on aura une voûte plate. Les deux jambages ou pieds-droits seront remplacés par deux murs parallèles, et la voûte sera formée de claveaux absolument semblables à ceux de la plate-bande et placés bout à bout, en ayant soin, autant que possible, de faire les joints de tête d'une rangée de claveaux, correspondans au milieu de la longueur des claveaux des rangées adjacentes.

La figure 27 représente la partie de plafond carré formé par la rencontre de deux galeries A et B, couvertes par des voûtes plates.

La figure 28 est le sommier provenant de la rencontre des deux murs, et la figure 29 est la pierre qui vient s'y appliquer. On donne à cette pierre le nom de *claveau d'angle*. Pour la tailler, on commencera par équarrir un bloc ayant pour base le rectangle *abcd*, et pour hauteur l'épaisseur de la voûte; puis on appliquera le panneau de tête (*fig.* 19) sur les deux faces verticales *cb*, *cd*. Il ne restera plus qu'à suivre le contour de ces panneaux, en abattant la pierre perpendiculairement à leur face, et prenant bien garde, toutefois, de ne pas trop prolonger les coupes intérieures qui doivent se rencontrer dans le plan vertical qui contiendrait la diagonale *ac*. Dans cet exemple, on a donné aux

coupes des claveaux la forme *vzk* (*fig.* 19). Il n'est pas nécessaire d'ajouter que l'on augmenterait la solidité en faisant ces coupes suivant la forme *mnyru* (*fig.* 20).

34. La figure 30 est une voûte plate couvrant une salle carrée, et la figure 31 représente le claveau d'angle qui a pour projection horizontale *mnpq*. La forme de cette pierre indique assez qu'il faudrait appliquer le panneau de tête sur les deux faces verticales *mn*, *mp*, puis tailler la pierre en suivant les contours de ces panneaux et perpendiculairement à leur surface.

On sait que cette espèce de voûte n'a pas de poussée. Cela ne serait pas vrai cependant si l'on faisait les coupes de claveaux selon la forme *vrz* (*fig.* 21); mais en faisant tout autour de chaque rangée de claveaux une crossette telle que *mnyr*, on pourra considérer la voûte entière comme composée de châssis rectangulaires et concentriques s'emboîtant les uns dans les autres, et portant sur les parties horizontales des crossettes. Cette précaution ne suffit pas; il reste encore à tailler les claveaux d'une même rangée, de manière qu'ils se soutiennent mutuellement. Pour cela on fera sur la tête de chaque claveau une crossette *ab* (*fig.* 30), au moyen de laquelle il s'appuiera sur le claveau qui précède en partant du claveau d'angle. On pourra reconnaître (*Statique*) que par cette combinaison, chaque claveau étant accroché sur celui qui précède et sur le claveau adjacent de la rangée extérieure, ne tendra plus à glisser sur la coupe oblique et à descendre du côté de la clé. Aussi dans ces sortes de voûtes peut-on supprimer non-seulement la clé, mais encore plusieurs rangées de claveaux concentriques; ce qui se fait souvent pour éclairer la salle.

35. La solidité de cet appareil le fait souvent préférer à celui de la figure 27, pour couvrir l'espace provenant de la rencontre de deux galeries.

On construira dans ce cas (*fig.* 32) sur les pieds-droits *a*, *b*, *c*, *d* quatre plate-bandes qui remplaceront les quatre murs de l'exemple précédent.

LIVRE II.

CHAPITRE PREMIER.

SURFACES CYLINDRIQUES.

MURS RONDS.

36. Si du point *c* comme centre (*fig* 33, *Pl.* 3), et avec les rayons *ca*, *cb*, on décrit deux cercles concentriques, l'espace *abde* compris entre ces deux cercles, pourra être considéré comme la projection horizontale d'un mur rond à base circulaire.

Pour tailler une des pierres de ce mur, on préparera (*fig.* 34) une pierre d'une épaisseur égale à celle que l'on veut tailler, puis on appliquera le panneau horizontal *abuv* sur les deux faces de la pierre qui doivent former les lits de pose. On abattra ensuite la pierre de manière que la règle puisse s'appuyer sur le contour des deux panneaux. Quant à la partie cylindrique *ava'v'*, il ne suffira pas que la règle puisse dans toutes ses positions s'appuyer sur les deux courbes *av*, *a'v'*, il faut encore (*Géométrie descriptive*) que toutes ses positions soient parallèles entre elles. Pour arriver à ce résultat on divisera les deux arcs *av*, *a'v'* qui forment ici les directrices du cylindre, en un même nombre de parties égales, et

les points correspondans sur ces deux arcs détermineront les différentes positions de la règle. La surface cylindrique intérieure *bu* se taillera de la même manière.

37. La figure 35 représente deux murs qui se raccordent sur le coin, par une portion de mur circulaire. Les pierres se tailleront comme dans l'exemple précédent ; le parement de la pierre *abce* est en partie plan et en partie circulaire.

38. La figure 36 représente un mur à base elliptique. Si l'on veut que l'intérieur du mur soit une ellipse semblable à celle qui détermine l'extérieur, on menera *cd* parallèle à la droite *ab* qui joint les extrémités des axes de la première ellipse, puis sur les deux droites *co*, *od*, on construira une ellipse qui sera semblable à la première. Dans ce cas, le mur sera plus épais vers le point *a* que vers le point *b* ; ce qui est quelquefois nécessaire pour résister à la poussée de certaines voûtes.

Si l'on fait les coupes ou joints verticaux *vu* perpendiculaires à la surface extérieure du mur, ces joints feront des angles inégaux avec la surface intérieure. Pour éviter cet effet, on pourra faire des coupes brisées *mns* telles, que *mn* soit perpendiculaire à l'extérieur, et *ns* à l'intérieur du mur ; on peut encore faire les coupes perpendiculaires à une ellipse moyenne, telle que *pq*. Dans ce cas, les angles formés par les joints avec les deux surfaces du mur différeraient peu de l'angle droit.

On peut encore former la surface intérieure du mur par une courbe *zxy* parallèle à la surface extérieure du mur ; cette courbe ne sera pas une ellipse. Pour la tracer, on construira un certain nombre de normales à l'ellipse extérieure, puis on portera sur chacune de ces normales, une grandeur *bz* égale à l'épaisseur que l'on veut donner au mur.

BERCEAUX ET PORTES DROITES.

Berceau.

39. Nous venons de dire que les paremens extérieurs et intérieurs des murs ronds étaient des surfaces cylindriques. Si nous supposons actuellement que ces mêmes surfaces, au lieu d'être placées verticalement, soient placées horizontalement, comme le représente la figure 37, on aura un berceau cylindrique. On emploie cette espèce de voûte pour couvrir l'espace compris entre deux murs parallèles, dont les projections horizontales seraient A, B. On a supprimé ces murs dans la projection verticale, et l'on n'a figuré que la portion de la voûte au-dessus du plan *mn*, que l'on nomme le *plan de naissance*. La surface cylindrique, formant l'intérieur de la voûte, se nomme l'*intrados* ou la *douelle*, et la surface extérieure s'appelle *extrados*. On donne le nom de *cintre* à la courbe qui détermine la forme de l'*intrados*; chacune des pierres de la voûte se nomme *voussoir*; les faces suivant lesquelles se touchent les voussoirs s'appellent *joints*. Le cintre doit toujours être partagé en un nombre impair de parties, autant que possible égales entre elles. Le voussoir du milieu se nom la *clé*.

Pour construire la projection horizontale, ou a supposé que le berceau était renversé, afin de mieux faire voir l'appareil de l'intrados.

40. Nous avons dit (3) que le lit de carrière d'une pierre devait être placé perpendiculairement à la direction, suivant laquelle agit la pression; ainsi, dans les murs, nous avons placé le lit de carrière horizontalement, parce qu'en vertu de la pesanteur, la pression des pierres supérieures est verticale; mais dans les plate-bandes et berceaux, les voussoirs agissant comme des coins qui tendraient à écarter les pierres adja-

centes, la force se décompose (*Statique*) perpendiculairement aux faces suivant lesquelles les pierres se touchent; aussi devons-nous autant que possible, placer le lit de carrière parallèlement à ces faces. Ainsi (*fig.* 37), on placerait ce lit parallèlement à un plan *pq* qui partagerait le voussoir en deux parties égales; cependant, par des raisons d'économie, on ne s'assujettit pas rigoureusement à cette règle et l'on place le plus souvent le lit de carrière parallèlement à l'une des deux faces latérales du voussoir; cela permet quelquefois d'employer des pierres dont les coins auraient été enlevés par accident.

41. Dans la figure 37, l'extrados et l'intrados sont déterminés par deux cercles concentriques; mais cette disposition ne serait pas conforme aux lois de l'équilibre et ne pourrait être adoptée que pour un berceau qui aurait peu de largeur.

La théorie et l'expérience ont fait reconnaître (*Statique*) que dans le cas où le cintre qui détermine l'intrados serait un demi-cercle, il faudrait pour que toutes les pierres qui composent la voûte fussent maintenues en équilibre par leur propre poids et sans le secours de moyens étrangers; il faudrait, dis-je, que l'extrados eût la forme de la courbe *bac* (*fig.* 38) dont les branches se rapprochent toujours du plan de naissance *de*, sans toucher ce plan; de sorte que les deux pierres qui à droite et à gauche forment la naissance de la voûte devraient avoir une grandeur infinie. On conçoit qu'on ne pourra pas, et qu'il ne sera même pas nécessaire de satisfaire rigoureusement à ces conditions, l'adhérence des pierres pouvant être augmentée indéfiniment, non-seulement par des mortiers, mais encore par des coupes ou crossettes semblables à celles que nous avons indiquées en parlant des plate-bandes; enfin, par des crampons ou armatures en fer, disposés de manière à lier les pierres entre elles; mais pour donner plus de légèreté aux voûtes, et se rapprocher autant que possible de la forme indiquée par la théorie, on dispose assez souvent l'appareil comme on le voit figure 39.

Les pierres *a* et *b* forment à droite et à gauche deux masses qui par leur force d'inertie suppléent suffisamment à la grandeur infinie que l'on devrait donner aux premières pierres de la voûte. Quant à la partie courbe de l'extrados, on la déterminera pas un arc de cercle dont le centre serait situé en *o*, de manière que l'on ait *oc* égal à peu près au tiers du rayon de l'intrados.

Porte droite.

42. Lorsqu'un berceau a peu de longueur, on lui donne le nom de *porte*.

43. Les portes étant souvent percées dans la façade du monument, on doit tâcher (*fig.* 40) de raccorder les joints ou coupes des voussoirs avec les lits et joints verticaux du mur, de manière à contribuer à la décoration de l'édifice.

44. On fait assez souvent tout autour de la porte un petit renfoncement rectangulaire ou feuillure, comme celui que nous avons fait à la plate-bande, (*fig.* 20). La feuillure est destinée à recevoir les venteaux de la porte.

45. Si la feuillure existait des deux côtes de la porte, la partie saillante de l'intrados serait un *arc doubleau*. On place aussi quelquefois des arcs doubleaux de distance en distance dans les berceaux ou galeries circulaires. En leur donnant une saillie suffisante, on peut les faire porter sur des colonnes, de sorte qu'ils contribueront autant à l'élégance qu'à la solidité de la voûte.

Pour tailler une pierre de porte droite, on équarrira un parallélépipède d'une longueur égale à l'épaisseur du mur, et d'une base capable de contenir le panneau de tête *abcdei*; puis, après avoir relevé ce panneau sur l'épure, on l'appliquera sur les deux faces correspondantes de la pierre, et l'on

abattra tout ce qui empêcherait la règle de s'appuyer sur le contour de ces deux panneaux.

Il est bien entendu qu'il faudra marquer entre les points, *e*, *i* plusieurs points de division, qui, reportés sur la pierre, détermineront le parallélisme de toutes les positions dela règle, ainsi que cela a été fait pour la partie cylindrique de la pierre d'un mur rond.

Pour tracer la feuillure, on marquera sur la tête de la pierre les points *m*, *n*, par lesquels on fera passer l'arc *mn*, dont on prendra la courbure sur l'épure. On pourra encore tracer cet arc en faisant mouvoir un compas dont une branche s'appuierait sur l'arc *ei*, tandis que l'autre branche tracerait l'arc *mn*. L'arc *ou* se tracera de la même manière, ou avec une règle flexible à laquelle on fera prendre la courbure de la douelle. Enfin, taillant la pierre suivant l'arc *mn* et perpendiculairement à la tête, et suivant l'arc *ou* perpendiculairement à la douelle, on formera deux petites surfaces, l'une cylindrique, l'autre plane, qui se couperont suivant l'arète rentrante *vz*; et la feuillure sera taillée.

46. Je terminerai ce sujet en donnant quelques exemples d'appareils de portes droites.

On distingue en général les cintres de cette manière :

47. Le *plein cintre* est celui qui est formé par une demi-circonférence, comme dans les exemples précédens.

48. Le cintre est *surbaissé* (*fig.* 42) lorsque la hauteur *cb* est moindre que la demi-largeur *ca*.

49. Enfin le cintre est *surhaussé* (*fig.* 43) lorsque la hauteur est plus grande que la demi-largeur.

50. La figure 44 représente une porte *rampante*; le cintre *abc* est une courbe à deux centres se raccordant avec les pieds droits aux points de tangence *a* et *c*. La distance *ob* devant être égale à la moitié de la droite *ca*, le point *m*, centre de l'arc *ab*, sera donné par l'intersection de l'horizontale *am* avec

la perpendiculaire sur le milieu de la corde *ab*, et le point *n*, centre de *bc*, sera l'intersection de l'horizontale *cn* et de la perpendiculaire sur le milieu de *bc*. Les deux arcs se raccorderont en *b*; ce qui n'aurait pas lieu si *ob* n'était pas égal à *ca*.

Toutes les coupes qui auront lieu sur l'arc *ab* devront donc être dirigées vers le point *m*, et toutes celles de l'arc *bc* concourront au point *n*.

51. On peut encore faire des arcs rampans avec des courbes à deux ou plusieurs centres plus ou moins surhaussés.

52. Enfin on peut prendre pour cintre une demi-ellipse rapportée à ses diamètres conjugués. Dans ce cas, les coupes devront être des normales à l'ellipse.

CHAPITRE II.

PORTES BIAISES ET EN TALUS.

53. Avant d'aller plus loin, il est utile de présenter quelques observations générales sur le but que nous nous proposons d'atteindre.

Il s'agit, comme nous l'avons pu reconnaître par quelques exemples précédens, de prendre les blocs de pierre tels qu'ils sont tirés de la terre, et par des coupes déterminées, de leur donner la forme qui convient le mieux suivant la place qu'ils doivent occuper.

Or, la solution de ce problème se compose de deux parties :

1°. Le dessin ou l'exécution de l'épure qui doit donner les dimensions de toutes les parties de la pierre;

2°. Le tracé sur la pierre même de toutes les lignes nécessaires pour la détermination des coupes.

Mais l'épure ne donne pas directement toutes les dimensions d'une pierre dans leur véritable grandeur. On sait (*Géom. descriptive*) qu'une ligne n'est égale à sa projection, qu'au-

tant qu'elle est parallèle au plan sur lequel elle a été projetée : ce qui n'a pas toujours lieu, et ne peut d'ailleurs jamais exister pour les figures et les lignes qui ne sont pas planes. On doit donc, lorsque l'on commence une épure, apporter le plus grand soin dans le choix des plans de projection, et prendre, autant que possible, ces plans parallèles au plus grand nombre de lignes.

Porte dans un mur biais.

54. Supposons que le trapèze $a'b'a''b''$ (*fig.* 46, *Pl.* 4) représente l'ouverture d'une porte percée dans un mur, dont les deux faces verticales $p'q'$, $p''q''$, ne sont pas parallèles entre elles.

On construira (*fig.* 45) la projection verticale de la porte sur un plan perpendiculaire à son axe. Le cylindre d'intrados ayant pour directrice le demi-cercle *aub*, la pénétration dans la face $p'q'$ du mur sera un demi-cercle égal au ceintre, et se projettera horizontalement par la droite $a'b'$; la pénétration dans la face $p''q''$ sera une demi-ellipse projetée horizontalement par $a''b''$; et comme cette courbe fait partie du cylindre d'intrados, sa projection verticale coïncidera avec la courbe *aub*.

On suppose ici que la porte est renversée afin de mieux faire voir l'appareil d'intrados.

Pour tracer l'une des pierres (*fig.* 48), par exemple celle qui est à droite de la clé, on prendra sur la projection horizontale la distance 4, 4, qui représente la plus grande longueur de la pierre ; puis, après avoir dressé les deux ſaces de tête, on y appliquera le panneau *vhkz*54 ; et l'on taillera la pierre comme s'il s'agissait d'une porte droite (45) ; enfin, en portant sur chaque arête sa véritable grandeur, qui sera donnée par la projection horizontale, on aura tous les points nécessaires pour déterminer la coupe oblique de la pierre.

Mais le moyen que nous venons d'indiquer présente quel-

ques inconvéniens; en effet, les appareilleurs font assez souvent leurs épures, suivant la grandeur d'exécution, sur des murs dont la surface a été dressée avec soin; il faudrait donc qu'après avoir pris sur leur dessin les longueurs des arètes, ils allassent reporter ces dimensions sur la pierre, qui est quelquefois très loin du lieu où l'épure a été faite. On pourrait bien exprimer par des nombres la longueur de toutes les arètes des pierres que l'on devra tracer; mais ce procédé, qui serait fort long, ne pourrait pas s'appliquer aux lignes courbes. Nous allons indiquer d'autres moyens.

La section par le plan vertical $p'q'$ étant perpendiculaire aux génératrices du cylindre qui forme l'intrados sera la *section droite* de ce cylindre; les appareilleurs lui donnent aussi le nom de *ligne de direction*. Cette courbe, parallèle au plan vertical de projection, est projetée sur ce plan dans sa véritable grandeur. Les arcs $(a, 1)$, $(1, 2)$, etc., étant portés à la suite les uns des autres sur la droite $a''b''$ (*fig.* 47), on aura le développement de la courbe aub. Il est bien entendu que si les points de division étaient trop éloignés, il faudrait prendre d'autres points intermédiaires. Les droites (a''', a^{IV}), $(1, 1)$ $(2, 2)\ldots$, perpendiculaires à $a'''b'''$, représenteront dans le développement les génératrices d'intrados. Leurs longueurs seront données par la projection horizontale de la porte, et la figure $a'''b'''a^{\text{IV}}b^{\text{IV}}$ sera le développement de la douelle.

Supposons donc, comme nous l'avons dit précédemment, que l'on ait taillé la pierre comme s'il s'agissait d'une porte droite, on construira le panneau de douelle (4, 4, 5, 5) en carton ou en toute autre matière flexible, puis on l'appliquera dans la partie cylindrique de la pierre, en faisant coïncider l'arc (4, 5) de la section droite avec l'arc correspondant à la face de tête. Enfin, appuyant légèrement sur le panneau, on lui fera prendre la courbure de la pierre, et l'on tracera dans la douelle l'arc correspondant à la face biaise.

On construira ensuite, dans leur véritable grandeur, les panneaux de joints provenant des coupes $5z$, $4v$, (*fig.* 45, et l'on appliquera ces panneaux à droite et à gauche sur les

deux faces adjacentes à la douelle, ce qui suffira pour déterminer la coupe oblique.

On peut disposer l'épure comme on le voit (*fig.* 47); on a supposé que chaque panneau de joint avait tourné autour de l'arète d'intrados pour se rabattre sur le développement de la douelle.

La construction de ces panneaux ne présente pas de difficulté. Ainsi, par exemple, pour celui qui coupe la douelle suivant l'arète (4, 4) on prendra sa largeur $4v$ (*fig.* 45), et l'on portera cette largeur de 4 en v''' sur $a''b'''$ (*fig.* 47), puis on construira la droite $v'''v^{\text{IV}}$ égale à $v'v''$ (*fig.* 46); il n'y aura plus qu'à tracer le quatrième côté $4v^{\text{IV}}$.

Les autres panneaux se construiront de la même manière.

On pourrait encore relever sur l'épure et appliquer sur la pierre le panneau horizontal $v'v''h'h''$; mais cela n'aurait d'autre but que de compléter le tracé de la coupe oblique: car, trois points suffisant pour déterminer un plan, il est évident que la douelle et un seul panneau de joint pourraient diriger le travail de l'ouvrier.

Porte dans un mur en talus.

55. Le cintre de la porte étant supposé le même que dans l'exemple précédent, nous pouvons nous servir de la même projection verticale (*fig.* 45).

La droite op''' est la section de la face du talus par le plan vertical $p'p''$. Cette section, rabattue à gauche sur le plan vertical de projection, est déterminée par l'inclinaison plus ou moins grande que l'on veut donner au talus.

55. Dans la projection horizontale (*fig.* 49) la porte est vue en-dessus.

Pour construire la projection horizontale d'un point du talus, du point 2 par exemple, on concevra par ce point (*fig.* 45) une ligne horizontale (2, 2) située dans la face du talus. Cette ligne rencontrera la droite op''' en un point 2 projeté horizontalement sur op^{IV}, et ramené par un arc de

cercle horizontal dans le plan $p'p''$. Enfin, une parallèle à la trace du talus fera connaître la projection horizontale du point 2. Les autres points du talus se construiront de la même manière.

Le développement de la douelle et la construction des panneaux de joints (*fig.* 50) se feront comme dans l'exemple précédent.

La porte étant symétrique, on s'est contenté de construire la moitié de la douelle et des panneaux qui, étant retournés, peuvent servir pour les deux côtés.

Porte dans un mur biais et en talus.

56. Cet exemple est une combinaison des deux précédens; l'inspection de l'épure indiquera suffisamment la manière de construire la projection horizontale (*fig.* 52), ainsi que les panneaux de joints et le développement de la douelle (*fig.* 53).

Pour tailler les pierres de ces deux derniers exemples, on s'y prendra comme pour celles de la porte biaise.

Passage et berceau biais.

57. La figure 55 représente un passage biais dans un mur droit; *ab* est la section droite. Enfin la figure 56 est un berceau pénétrant obliquement dans deux murs parallèles. Nous ne nous arrêterons pas à ces deux cas, qui rentrent dans les exemples précédens, et qui d'ailleurs présentent quelques inconvéniens dont nous parlerons bientôt.

Berceau biais pénétrant dans un mur de face.

58. Soit (*fig.* 57, *Pl.* 5) la section droite d'un berceau pénétrant dans un mur de face compris entre les deux plans verticaux $p''q''$, $p'''q''$ (*fig.* 58). On ne prolongera l'extrados du berceau que jusqu'au plan vertical $p''q''$, et pour l'épaisseur du mur on adoptera l'appareil de la figure 59, qui représente la face

$p'''q'''$ du mur, rabattue sur le plan horizontal. Les arètes du berceau, prolongées jusqu'au plan vertical $p''q''$, donneront tous les points de la pénétration. La hauteur de chaque point sera donnée par la figure 57. La courbe de cette pénétration est une demi-ellipse ; si l'on voulait qu'elle fût circulaire, il faudrait commencer par construire cette figure et en déduire la première en faisant les constructions dans un ordre inverse. On remarquera que les coupes des joints, dans la figure 59, étant dirigées vers le centre de l'ellipse, ne seront pas perpendiculaires à la courbe. Si, pour plus de régularité dans l'appareil extérieur, on voulait satisfaire à cette dernière condition, il est évident qu'alors les plans de joints ne seraient plus perpendiculaires à l'intrados du berceau. Les coupes $q''u''$, $q'''u'''$, etc., perpendiculaires aux faces du mur, se raccorderont facilement avec les pierres adjacentes.

Supposons que l'on veuille tracer la pierre de la seconde assise à droite, on taillera à la distance de la plus grande hauteur de la pierre deux faces parallèles suivant le contour du panneau horizontal $5q'q''u''u'''q'''5$ (*fig.* 58). La pierre étant ainsi préparée, on construira le panneau $5ochkz6$ (*fig.* 57), et l'on appliquera ce panneau sur la face verticale $q'5$, correspondante à la section droite du berceau. On construira pareillement le panneau $5o'''c'''h'''k'''z'''6$ (*fig.* 59), que l'on reportera sur la face oblique du mur, puis on abattra toute la pierre excédente. Il ne restera plus (*fig.* 61) qu'à faire disparaître la petite portion d'extrados $u''o''c''u'''o'''c'''$; pour cela on pourra prendre (*fig.* 60) le panneau de joints $5o'o''u''u'''5$, que l'on portera sur la face correspondante de la pierre ; enfin, joignant $u'''h'''$ et faisant $c''c'''$, égal à $u''u'''$, toutes les coupes seront déterminées.

Il est inutile de dire que la figure 60, qui représente le développement de la douelle et les panneaux de joints se construira comme dans les exemples précédens.

Pour tailler la clé (*fig.* 62) on appliquera les panneaux $(mn34)$ (*fig.* 57) et $(m'''n'''34)$ (*fig.* 59) sur les faces correspondantes à la section droite du berceau et à la surface du mur ;

puis, après avoir abattu la pierre suivant le contour de ces deux panneaux, on portera les panneaux de joints à droite et à gauche de la douelle; enfin, on taillera l'extrados du berceau perpendiculairement au plan de la section droite, en suivant le contour de l'arc sx, et s'arrêtant au plan vertical $m''n''s''x''$, ou bien on taillera, suivant la droite $m''n''$, un petit plan vertical sur lequel on placera le panneau $m''n''s''x''$ donné par la figure 59, et les deux courbes sx, $s''x''$ seront les directrices de la surface cylindrique formant l'extrados du berceau.

Autre solution du même probleme.

59. Pour ne pas distraire l'attention, nous n'avons pas parlé des angles aigus formés par la pénétration des portes ou berceaux dans les murs biais ou en talus.

Lorsque l'inclinaison du mur par rapport au berceau sera peu considérable, on pourra se contenter des moyens précédens; mais lorsqu'il y aura beaucoup de biais, on opérera comme nous allons l'indiquer.

Soit (fig. 63) le plan du berceau pénétrant dans le mur compris entre les deux plans verticaux $p''q''$; $p'''q'''$. La section droite du berceau étant, comme dans l'exemple précédent, représentée par la figure 57, on conduira d'abord les génératrices d'intrados jusqu'au plan vertical $p''\ q''$; puis, à partir de ce plan, on les dirigera perpendiculairement à la surface du mur; de sorte que le berceau lui-même sera brisé, et qu'il aura pour entrée un petit berceau perpendiculaire au mur de face. Si, comme nous l'avons supposé, la section droite du berceau principal est un demi-cercle, la pénétration dans le mur sera une demi-ellipse ayant pour axe horizontal $a'''b'''$, et pour axe vertical la hauteur du berceau. On construira cette ellipse soit par ses axes, soit en rabattant comme précédemment chacun de ses points, et prenant les hauteurs sur la figure 57. La courbe $a'''b'''$ étant rabattue sur le plan horizontal, on prendra $a'''i$ pour rayon, et du point e comme centre,

on décrira un arc de cercle qui déterminera les foyers F, F′. Joignant ces points avec le point 1, on aura deux rayons vecteurs F1, F′1, et la droite $1y$, qui partage en deux parties égales l'angle F1F′, sera normale à l'ellipse, et représentera par conséquent le plan de joint du petit berceau. On opérera de la même manière pour les autres joints. Enfin, faisant les hauteurs d'assises égales à celles du berceau principal, l'appareil de face sera complètement déterminé.

La figure 65 représente la pierre à droite de la seconde assise; on taillera d'abord deux faces horizontales suivant le contour du panneau $5q'q''q'''55$ (fig. 63), puis on appliquera le panneau $5ochkz6$ (*fig.* 57) sur la face correspondante à la section droite, et le panneau $5u'''h'''k'''z6$ (*fig.* 64) sur celle qui correspond à la face du mur. On fera ensuite des coupes $k'''z'''6$ perpendiculaires aux plans de ces panneaux, en ayant soin toutefois de ne pas prolonger ces coupes, de part et d'autre, au-delà du plan vertical $p''q''$. On pourra donner plus de précision au travail, en taillant d'abord la face horizontale $c'c''u''u'''h'''h''h'$, puis le petit plan vertical sur lequel on placera le panneau $c''o''v''$ donné par la figure 64. On peut aussi faire usage des panneaux de douelle ou de joints, que l'on construira comme dans l'exemple qui précède.

Passage biais.

60. La figure 66 présente deux exemples de berceaux pénétrant dans des murs qui ne sont pas parallèles. Le premier berceau A, perpendiculaire au plan *pq*, qui partage l'angle des murs en deux parties égales, est terminé par deux arcs droits, comme dans l'exemple précédent. Le second exemple se compose de deux berceaux B, C perpendiculaires aux murs donnés, et qui viennent se raccorder par un arc vertical *ab* situé dans le plan *pq*. Cette dernière combinaison mérite toute l'attention du lecteur.

CHAPITRE III.

DE L'ARÈTIER.

61. Le berceau A (*fig.* 67) étant coupé par le plan vertical p, q, la section sera une ellipse verticale projetée sur le plan horizontal par la droite $a''b''$. On peut prendre cette ellipse pour directrice du cylindre d'intrados d'un second berceau B, de sorte que l'espace compris entre les deux murs $aa''a'''$, $bb''b'''$ sera couvert par un berceau coudé, ou, si l'on veut, par deux berceaux qui se raccorderont suivant l'ellipse verticale $a''b''$. Si le plan pq partage en deux parties égales l'angle $aa''a'''$, les sections droites des deux berceaux seront égales : dans le cas contraire, il faudra construire la section droite du second berceau, comme nous l'avons fait (59).

62. On nomme *arètier* la courbe verticale $a''b''$, suivant laquelle les deux berceaux se rencontrent.

63. Si l'on regarde de l'intérieur de la voûte, on verra que toute la moitié $a''c''$ de l'arètier forme un angle saillant qui s'efface à mesure qu'il approche du point c'', et qui devient au contraire rentrant pour l'autre moitié $c''b''$ de l'arètier.

64. La pierre (*fig.* 68) appartient à la partie saillante de l'arètier. On taillera d'abord d'après la hauteur de la pierre deux faces parallèles en suivant le contour du panneau de projection horizontale $s's''s'''$, 1, 1, 1, puis on appliquera le panneau de tête *asuvo*1 sur les deux faces verticales s'1, s'''1, correspondantes aux sections droites des deux berceaux. En faisant des coupes suivant le contour de ces deux panneaux et perpendiculairement à leurs plans, la pierre sera taillée.

65. Pour la pierre (*fig.* 69) appartenant à la partie rentrante de l'arètier, on taillera les deux faces horizontales suivant le contour $t't''t'''$4, 4, 4, et l'on appliquera le panneau

de tête *btxzi4* sur les faces $t'4$, $t''4$, puis on fera les coupes perpendiculairement aux plans de ces panneaux.

66. Si, comme nous l'avons supposé ici, les deux berceaux sont égaux, toutes les coupes perpendiculaires aux panneaux de tête doivent se rencontrer deux à deux dans le plan vertical *pq* qui contient l'arêtier. Cela n'aurait pas lieu si les deux berceaux étaient inégaux.

Voûtes d'arète.

67. Dans l'exemple précédent, les cylindres formant les intrados des deux berceaux se rencontrent suivant une courbe plane et verticale. Cette circonstance se rencontrera souvent dans la pratique.

68. Concevons, en effet (*fig.* 70, *Pl.* 6), deux cylindres horizontaux A, B, ayant pour directrices ou pour sections droites les deux ellipses verticales *vku*, *uxz*, que nous supposons ici rabattues sur le plan horizontal. Si nous prenons sur ces ellipses deux points *a* et *b* qui soient situés à la même hauteur, et que par ces points nous concevions les deux génératrices $a'a''$, $b'b''$, ces deux lignes étant situées dans un même plan horizontal, se couperont en un point *m* qui fera partie de l'intersection des deux cylindres.

Or, on sait que si deux ellipses ont le même axe vertical, et que l'on prenne sur ces courbes deux points à la même hauteur, les ordonnées abaissées de ces points sur les axes horizontaux, partageront ces axes en parties proportionnelles.

Il résulte de là que, si les axes verticaux *ok*, *tx* sont égaux, et que les points *a*, *b* soient à la même hauteur, on aura

$$va' : a'u :: zb' : b'u,$$

ou bien

$$sa'' : a'u :: a''m : a'm;$$

donc les deux triangles $ua'm$, $ma''s$ sont semblables; d'où il

résulte que les trois points *smu* sont en ligne droite ; et comme on peut faire le même raisonnement pour tout autre point de la pénétration, on est en droit de conclure que la projection de cette courbe se confondra avec la diagonale du rectangle *vuzs*, et que par conséquent la pénétration se compose de deux ellipses verticales *vz*, *su* qui se coupent au point *c*.

69. Si nous supprimons les parties du cylindre A qui couvraient les espaces triangulaires *vcs*, *ucz*, la figure 71 représentera la projection horizontale du reste. Pareillement la figure 72 sera la projection horizontale de ce qui resterait du cylindre B, si l'on en retranchait les parties *vcu*, *scz*. Or, si nous supposons maintenant que l'on rapproche les deux figures 71 et 72, de manière que les parties restantes du cylindre A viennent occuper la place des parties du cylindre B qui ont été supprimées, la réunion de toutes ces parties de cylindres formera la voûte à laquelle on a donné le nom de *voûte d'arète*.

La figure 73 représente l'appareil vu de l'intérieur. Les deux ellipses verticales provenant de l'intersection des deux cylindres A et B sont projetées horizontalement par les deux diagonales *vz*, *su* : elles forment quatre *arètiers* à angles saillans, qui, partant des angles des murs, viennent se réunir au point *c*, que l'on nomme *le centre de la voûte*.

Les pierres qui forment les voûtes des berceaux A et B ne différant pas de celles des berceaux ordinaires, nous allons nous occuper principalement de l'appareil de l'arètier.

70. Pour faciliter l'explication de ce qui va suivre, nous conviendrons de nommer *arètes* ou *génératrices d'intrados*, celles qui proviennent de l'intersection de l'intrados d'un berceau avec les plans de joints. Nous nommerons *arètes d'extrados* celles qui résultent de l'intersection des plans de joints avec l'extrados ; enfin, arètes *cachées*, celles qui sont dans l'épaisseur du mur et qui proviennent de l'intersection de deux surfaces intérieures. Ainsi (*fig.* 73), l'arète qui con-

tient le point a sera une *arète d'intrados;* celle du point b est une arète d'extrados, et celle qui passe par le point e est une arète cachée.

Appareil de l'arètier.

71. Soit (*fig.* 75) $a'c'$ la projection horizontale de l'arètier provenant de la rencontre des deux berceaux A et B dont la hauteur verticale est la même.

Si l'un des deux berceaux, A, par exemple, est circulaire ou à plein ceintre, on commencera par construire sa section droite (*fig.* 74). Les arètes d'intrados a, 1, 2, 3, 4, rencontreront l'arètier en des points qui appartiendront au second berceau B, et qui, projetés sur un plan perpendiculaire à sa direction, donneront (*fig.* 76) la courbe $a''4$, qui est la section droite du cylindre d'intrados.

Les hauteurs des points 1, 2, 3, 4 seront les mêmes que pour le cylindre A, et seront données par la figure 74.

Par les points 1, 2, 3, 4 (*fig.* 76), on construira des normales à l'ellipse $a''4$, et l'on terminera ces normales aux points z'', o'', s'', t'', dont les hauteurs seront les mêmes que pour les points correspondans du premier berceau ; les points v'', u'' se détermineront, en faisant les hauteurs d'assises du second berceau égales à celles du premier.

Les deux figures 74 et 75 suffisent pour construire la voûte; mais si l'on veut compléter la projection horizontale de l'arètier, on opérera comme il suit :

L'arète *cachée* passant par le point v (*fig.* 74), et celle du point v'' (*fig.* 76) étant à la même hauteur, se couperont en un point v' (*fig.* 75) ; joignant ce point avec le point 1 de l'arètier, on aura la droite (1, v'), qui est l'intersection du plan de joint 1v du premier berceau avec le plan de joint 1v'' du second. Si l'on prolonge ces deux plans, ils couperont les cylindres formant les extrados prolongés des deux berceaux en deux droites projetées verticalement par les points z et z'' ; et

ces droites appartenant aux deux plans de joints $1v$, $1v''$, le point z' où elles se coupent doit se trouver dans le prolongement de $1v'$.

Les points u', o', y' se détermineront de la même manière, et se projetteront horizontalement sur la ligne droite $z'c'$; d'où l'on conclut que l'intersection des extrados des deux berceaux est aussi une ellipse verticale : ce qui, au surplus, est une conséquence de ce que nous avons dit plus haut (68).

72. Il est utile de remarquer ici que cette courbe, que l'on pourrait nommer *arètier extérieur* ou *d'extrados*, n'est pas dans le même plan vertical que l'arètier d'intrados.

73. Cependant les deux arètiers seraient dans le même plan vertical, et leurs projections horizontales se confondraient, si les deux berceaux étaient égaux, ou bien encore, si les plans de joints du second berceau passaient par son axe au lieu d'être perpendiculaires à l'intrados.

74. Les pierres de l'arètier se tailleront comme nous l'avons dit (64). Ainsi, par exemple, pour la pierre de la seconde assise, on équarrira un parallélépipède ayant pour base le rectangle $t'222$ (*fig.* 75), qui est la projection horizontale de la pierre, et pour hauteur mn (*fig.* 74), puis on levera le panneau de tête $tuo21vd$, que l'on placera sur la face verticale correspondante à la section droite du berceau A. De même on prendra (*fig.* 76) le panneau $t''u''o''21v''d''$, que l'on placera sur la face correspondante à la section droite du berceau B; puis, en faisant des coupes perpendiculaires aux plans de ces panneaux et suivant leurs contours, la pierre sera taillée. On pourrait augmenter la précision du travail en portant d'abord le panneau de tête $tuo21vd$ du berceau A sur les deux faces opposées du parallélépipède. Puis, après avoir taillé dans toute la longueur de la pierre la surface cylindrique appartenant au berceau A, on prendrait (*fig.* 77) le panneau (1, 1, 2, 2) qui représente le développement de la douelle, et lui faisant prendre la courbure de la pierre, on tracerait l'arc de l'arè-

tier, qui, avec l'arc de tête du panneau $t''u''o''21v''d''$, feraient deux directrices pour la surface cylindrique du second berceau.

On s'y prendra de la même manière pour tailler la pierre (*fig.* 79). La correspondance des lettres suffit pour faire reconnaître la disposition des panneaux.

Autre méthode.

75. Les moyens que nous avons employés jusqu'à présent composent ce que l'on appelle la *méthode par équarrissement.* On voit qu'ils consistent à préparer une pierre dont les faces rectangulaires entre elles deviennent en quelque sorte des plans de projection sur lesquels on porte les traces des plans ou surfaces courbes qui doivent déterminer toutes les coupes. Il existe une autre méthode que nous allons indiquer.

76. Supposons (*fig.* 74) que les points 2 et 3 soient joints par une ligne droite, et que l'on fasse glisser cette droite parallèlement à elle-même sur les deux arètes d'intrados 2 et 3, la portion de douelle comprise entre ces deux arètes sera remplacée par un plan. Faisons la même supposition pour la portion de douelle comprise entre les arètes 2 et 3 du second berceau. Les deux douelles plates que l'on obtiendra par ce moyen viendront se couper suivant une ligne droite 2, 3, dont la projection horizontale se confondra avec celle de l'arètier. Rabattons actuellement l'arètier sur le plan horizontal, en prenant la hauteur de chaque point sur la figure 74. La droite 2, 3 représentera dans ce rabattement l'intersection des deux douelles plates, et les arètes d'intrados 22, 33, seront parallèles à la projection horizontale de l'arètier, autour de laquelle le rabattement a été fait. Or, si par le point 2, ou tout autre point de la droite 2, 3, on conçoit un plan p qui lui soit perpendiculaire, ce plan contiendra l'angle que les deux douelles plates feraient entre elles, et l'on aura cet

angle dans sa véritable grandeur $v's'u'$, en le faisant tourner autour de l'horizontale $v'u'$, jusqu'à ce que son sommet soit venu se placer en ss'.

77. Cela étant fait on prendra (*fig.* 80) un bloc que l'on jugera au coup d'œil pouvoir contenir la pierre que l'on se propose de tailler, puis on dressera deux faces faisant entre elles l'angle *vsu* que nous venons de trouver pour l'inclinaison des deux douelles plates, et l'on tracera sur ces deux faces les quadrilatères formant le contour de ces douelles, soit en les décomposant en triangles, soit par tout autre moyen. Enfin on abattra la pierre tout autour de ces panneaux suivant les angles que les joints doivent faire avec les douelles, toujours supposées plates; ces angles se prennent, comme on le voit (*fig.* 74), avec un instrument nommé *beuveau*, formé de deux morceaux de bois mince, que l'on cloue solidement. On fait glisser le beuveau (*fig.* 81) en maintenant son plan perpendiculaire à l'arète.

78. On n'oubliera pas que par suite de l'inégalité des deux berceaux, les joints ne font pas partout les mêmes angles avec les douelles plates, de sorte qu'il faudra construire autant de beuveaux qu'il y a d'angles différens.

Le beuveau placé sur les arètes (2,3), (2,3) doit être un angle droit.

Quand les coupes de joints sont faites, on trace l'extrados d'après l'épaisseur que l'on veut donner à la voûte, puis on creuse les douelles suivant la courbure des cylindres dont elles font partie.

79. La méthode que nous venons d'indiquer exige plus de pierre, parce que l'on n'aperçoit pas aussi bien, au premier coup d'œil, quel est le plus petit bloc capable de contenir le voussoir que l'on veut tailler. Mais, d'un autre côté, on épargne une partie du travail de l'ouvrier, qui ne taille ici que les faces mêmes de la pierre, tandis que dans la méthode

par équarrissement il fallait préparer les faces du parallélépipède rectangle, pour y tracer le contour des panneaux. L'habitude et la pratique feront juger, dans chaque cas, laquelle de ces deux méthodes offre le plus d'économie.

80. Nous nous sommes étendu assez longuement sur l'appareil de l'*arètier,* parce que cette combinaison se représentera par la suite sous toutes sortes de formes, et pour résumer ce que nous venons de dire, nous ferons remarquer que dans une pierre d'arètier les lignes ou arètes principales sont :

1°. L'*arètier intérieur ou d'intrados*, provenant de l'intersection des douelles ou intrados des deux berceaux.

2°. L'*arètier extérieur ou d'extrados* provenant de l'intersection des deux extrados.

3°. L'*intersection des plans de joints inférieurs.*

4°. L'*intersection des plans de joints supérieurs.*

81. Nous remarquerons encore que l'angle formé par les douelles, qui est droit dans le plan de naissance, augmente à mesure que l'on s'approche du centre de la voûte, et qu'à ce point il s'efface entièrement : on peut se convaincre de cette vérité en mesurant cet angle à plusieurs places, comme nous l'avons fait (76).

Voûte d'arète avec arcs doubleaux.

On commencera par la section droite du berceau circulaire A, et l'on construira, comme dans l'exemple précédent, la courbe du second berceau B, les plans de joints perpendiculaires à la douelle et les arètes d'extrados à la même hauteur que celle du premier berceau. Pour tracer la saillie de l'arc doubleau, on prolongera les normales dans l'intérieur de la courbe $a''4$ d'une quantité $a''e''$ égale à ae, de sorte que les deux ellipses $a''4$, $e''i$, soient parallèles entre elles, et que la saillie soit la même partout. Le reste de la projection horizontale ne présentera plus la moindre difficulté.

Quand l'épure sera terminée, on taillera la pierre (*fig.* 85) comme s'il s'agissait d'un arètier simple, puis, avec une règle flexible, que l'on appliquera sur les douelles et perpendiculairement aux arètes d'intrados, on tracera les deux arcs *te*, $t''e''$, et l'on évidera la pierre d'équerre avec la douelle, jusqu'à ce que l'on puisse appliquer les deux petits panneaux *a*1*te* (*fig.* 82) et $a''1t''e''$ (*fig.* 84); enfin, taillant perpendiculairement aux plans de ces deux panneaux, les petites surfaces cylindriques *a*, 1, 1, leur rencontre déterminera la forme de l'arètier.

On pourrait aussi, pour donner plus de précision aux coupes, appliquer sur la pierre les panneaux de joints (*tvv*11*t*) ($t''v''v''11t''$) dont les largeurs *tv*, $t''v''$ seraient données par les *fig.* 82 et 84, et les longueurs des arètes par la projection horizontale (*fig.* 83).

Les mêmes procédés seront employés pour tailler la pierre (*fig.* 86).

Voûte à double arètier.

82. Quelquefois on fait deux arètiers qui partant de l'angle du pied droit *fig.* 87, s'écartent l'un de l'autre et viennent aboutir aux angles d'un quadrilatère *m'pgs*, dont la grandeur est arbitraire, mais dont les côtés doivent être, pour plus de régularité, parallèles au diagonales du rectangle formé par la voûte principale.

Il est évident qu'une pareille voûte n'est autre chose que la pénétration des deux berceaux A (*fig.* 82) et B (*fig.* 84) par un troisième berceau C, dont la section droite est rabattue sur le plan horizontal (*fig.* 89). Les directions *km'*, *m'p*, *ph* des trois berceaux, détermineront les arètes d'intrados, que l'on construira en commençant par celles du berceau A (*fig.* 82).

On taillera la pierre (*fig.* 90) comme pour un arètier simple, en se servant des panneaux de tête des berceaux A et B, et l'on tracera dans les douelles correspondantes les arcs (1,2) (1,2), qui doivent former les deux arètiers, puis on prendra ces courbes pour directrices de la troisième

surface cylindrique 1, 1, 2, 2. Enfin, pour tailler le petit plan 2, 2, *u* perpendiculaire à cette surface, on fera usage d'un beuveau donné par la *fig.* 89.

Si l'on veut donner plus de précision au tracé des courbes 1, 2, 1, 2, on construira les panneaux de développement des douelles des berceaux A et B, ainsi que les panneaux de joints correspondans.

La clé formée par le quadrilatère *m'pgs*, est entièrement plate et l'on devra par cette raison, donner aux coupes latérales *mn* (*fig.* 89) une légère inclinaison, car il est évident qu'en faisant ces coupes normales à l'intrados, elles seraient verticales, ce qui ne pourrait pas tenir.

On pourrait croire qu'en faisant un double arètier, on a pour but de rendre moins aigu l'angle formé par la rencontre des deux berceaux A et B, mais il est évident que la combinaison précédente ne produira pas cet effet, puisque l'arètier ne se trouve tronqué que dans la partie supérieure de la voûte, où l'angle est moins saillant que dans le plan de naissance.

83. Si donc on voulait faire disparaître l'angle trop aigu d'un arètier, il est évident qu'on y parviendrait en tronquant le pied droit (*fig.* 93, *Pl.* 8) par un plan vertical et faisant partir des angles a', a'', deux arètiers qui viendraient se réunir au centre de la voûte, au lieu de s'écarter comme dans l'exemple précédent.

Cette construction ne présentant aucune difficulté, nous ne nous y arrêterons pas davantage.

La figure 94 est une voûte d'arète sur un hexagone régulier. Les douze arètiers de cette voûte proviennent des pénétrations des trois berceaux ou cylindres principaux A, B, C, par trois autres cylindres *a*, *b*, *c*.

La figure 95 représente la clé.

84. La figure 96 est une voûte d'arète construite sur un quadrilatère irrégulier *ouvz*.

Les deux droites *mn*, *pq*, qui joignent les milieux des

côtés opposés, se coupent en un point x, qui sera le point le plus élevé de la voûte. Les droites xo, xu, xv, xz, sont les projections de quatre arêtiers qui proviennent des intersections de quatre cylindres A, B, C, D, parallèles aux lignes mn, pq, et dont les sections droites a, b, c, d, sont rabattues sur le plan horizontal. Enfin, les figures e, f, g, h, sont les sections droites de quatre berceaux qui par leur rencontre avec les cylindres formant la voûte d'arête, forment quatre arêtes ou, oz, zv, vu, dont les projections horizontales se confondent avec les côtés du quadrilatère donné.

85. Pour construire une voûte surbaissée, on peut quelquefois remplacer les berceaux elliptiques (*fig.* 76), par deux demi-berceaux circulaires (*fig.* 97), écartés l'un de l'autre d'une certaine quantité vu, que l'on couvrira par une voûte plate appareillée comme nous l'avons dit (33).

Dans ce cas, on construira le sommet d'un triangle équilatéral vuz, et l'on fera concourir au point u tous les joints compris dans l'angle vuz; les autres joints seront dirigés vers les points v, u.

Voûte en arc-de-cloître.

86. Supposons que l'on veuille couvrir l'espace rectangulaire $a'b'm'n'$ (*fig.* 99, *Pl.* 9), compris et renfermé entre quatre murs droits, on construira les deux diagonales $a'n'$, $b'm'$, qui se coupent au point c'; les triangles $a'c'm'$, $b'c'n'$, seront couverts par des parties d'un berceau circulaire A, projeté verticalement (*fig.* 98) et les parties de voûte $a'c'b'$, $m'c'n'$, appartiendront à un berceau elliptique B, rabattu (*fig.* 100). Les deux berceaux se pénétreront suivant deux ellipses dont les projections horizontales se confondront avec les diagonales du rectangle $a'b'm'n'$, ces deux courbes formeront dans les angles de la salle, quatre arêtiers rentrans qui viendront aboutir au point c'.

Les cylindres d'extrados se rencontreront suivant deux

autres ellipses verticales $z'p'$, $t'q'$, qui formeront à l'extérieur des arètiers saillans.

Dans le cas d'une salle carrée, les arètiers intérieurs et extérieurs seraient dans un même plan vertical et leurs projections horizontales se confondraient.

On donne à cette espèce de voûte le nom de *voûte en arc-de-cloître ;* on voit qu'elle diffère de la voûte d'arète ordinaire (67) en ce que les arètiers, qui sont saillans dans l'une de ces voûtes, sont rentrans dans l'autre ; cela provient de ce que les parties qui dans l'une étaient couvertes par le cylindre A, se trouvent dans l'autre faire partie du cylindre B. Aussi peut-on dire, dans le cas où l'espace à couvrir serait le même, que la voûte arc-de-cloître, se compose des parties de berceaux que l'on a supprimées dans la voûte d'arète.

Le tracé de la pierre ne présente aucune difficulté. Après avoir préparé le parallélépipède d'après la projection horizontale, on appliquera (*fig.* 101); les deux panneaux de tête $a1vd$, $a''1''v''d''$; et les coupes perpendiculaires aux plans de ces panneaux, détermineront les douelles, les plans de joints, ainsi que l'arètier.

Les figures 102 et 103, sont les projections verticales et horizontales d'une voûte en arc-de-cloître, construite sur un hexagone régulier ; les six arètiers rentrans de cette voûte proviennent de la pénétration de trois cylindres égaux A, B, C. La figure 102 est la section droite du cylindre A.

La fig. 104 est la seconde pierre de l'arètier.

Les figures 105 et 106, sont les deux projections d'une voûte en arc-de-cloître surbaissée. Les arètiers sont formés par la rencontre des cylindres circulaires A, A, avec les cylindres B, B. Les coupes des plafonds se détermineront comme nous l'avons dit (33, 85).

87. Les figures 107 et 108 représentent une voûte en arc-de-cloître surhaussée ; le cintre intérieur est formé par deux arcs ab, cd, décrits des points v, u, comme centre.

La partie supérieure de la voûte peut être remplacée par

un vitrage : dans ce cas, on devra appareiller la dernière assise comme on l'a fait pour les plates-bandes; car sans cela les pierres ne seraient pas soutenues.

CHAPITRE IV.

LUNETTES.

88. Nous avons, suivant l'usage, donné le nom de voûte d'arète à l'espace couvert par la combinaison de deux berceaux d'égale hauteur; nous avons vu de plus, que lorsque les directrices de ces berceaux sont des cercles ou des ellipses, les arètiers sont des courbes planes et verticales.

Si l'un des deux berceaux était moins élevé que l'autre, la courbe provenant de leur pénétration serait à double courbure (c'est-à-dire qu'elle participerait des courbures des deux cylindres), et la projection horizontale se composerait de deux courbes *abc*, *deh* (*fig.* 109, Pl. 10).

Dans ce cas, on donnerait le nom de lunette à la pénétration du petit cylindre dans le grand. Nous allons nous occuper de cette combinaison, qui, comme on le voit, a beaucoup d'analogie avec la voûte d'arète, dont elle ne diffère que par la différence de hauteur des deux cylindres.

Nous conserverons le nom d'arètier à la courbe provenant de la pénétration, et nous ne nous occuperons que des pierres qui forment la rencontre des deux voûtes, les autres ne différant pas de celles des berceaux ordinaires.

89. Étant donnés (*fig.* 110) les axes AC, BC des deux berceaux, ainsi que leur largeur et hauteur, on construira (*fig.* 111) la section droite du berceau A (*fig.* 112), celle du berceau B, que l'on supposera rabattue dans la position du plan *p*, en tournant autour de la verticale qui contient le point 4.

Les points *a*, 1, 2, 3, de la lunette, étant projetés horizontalement sur la trace du plan *p* et ramenés à leur place

en tournant autour de la verticale du point 4, on aura les projections horizontales des arètes d'intrados du petit berceau. Les projections verticales de ces mêmes arètes seront parallèles au plan horizontal et rencontreront l'arc *ae*, en des points *a*, 1, 2, 3, 4, qui projetés horizontalement sur les arètes d'intrados du berceau B,C, donneront la projection horizontale de l'arètier, ou pénétration des deux cylindres.

Dans les exemples précédens, les arètes d'intrados des deux cylindres étant à la même hauteur se rencontraient sur l'arètier; mais ici, et c'est en cela surtout qu'une lunette diffère d'une voûte d'arète ordinaire, on concevra que, par suite de l'inégalité des deux berceaux, on ne pourrait placer les arètes d'intrados à la même hauteur qu'en sacrifiant dans l'un ou dans l'autre la régularité de l'appareil; on ne s'assujettira donc pas à faire rencontrer les arètes d'intrados sur la courbe de pénétration des deux berceaux; mais après avoir déterminé séparément et indépendamment l'un de l'autre les deux appareils de tête (*fig.* 111 et 112), on construira les petites courbes (1*b*, 1*b'*), (2*c*, 2*c'*), (3*d*, 3*d'*), provenant des intersections du cylindre formant l'intrados du berceau A,C, par les plans de joints de la lunette. Ces courbes appartiennent à des ellipses qui viennent toutes se réunir au point *m*, où l'axe BC de la lunette vient percer l'intrados du grand berceau.

Pour déterminer la projection horizontale du point *b*, on projettera ce point en *b''* (*fig.* 112), sur la trace du plan de joint, et de là en *b'''* sur la trace horizontale du plan *p*, puis, faisant tourner autour du point 4, on obtiendra *b'* sur la perpendiculaire *bb'*, abaissée du point *b*.

Le même moyen conviendra pour déterminer un point intermédiaire entre 1 et *b*, ainsi que pour les points *c*, *d*, que l'on projettera (*fig.* 112) chacun sur la trace du joint dont il fait partie.

Les hauteurs d'assises étant égales dans les deux berceaux, l'arète horizontale projetée (*fig.* 111) par le point *s* et celle projetée (*fig.* 112) en *s''*, se rencontreront en un point dont la projection horizontale sera *s'* (*fig.* 110) et la droite (*sb*, *s'b'*)

sera l'intersection des deux plans de joints (bs,$1s''$). On peut vérifier cette construction en prolongeant l'arète d'intrados 1, du berceau BC, jusqu'à ce qu'elle rencontre en u, u', le plan de joint du grand berceau, ou plus exactement encore en joignant (*fig.* 110) le point s' avec le point C, provenant de l'intersection des axes des deux berceaux.

90. Cette dernière construction ne conviendrait pas au cas où les berceaux seraient elliptiques, parce que les plans de joints normaux à l'intrados ne contiendraient pas les axes des berceaux, ni par conséquent leur point de rencontre.

La projection horizontale de la 1re pierre étant terminée, nous allons nous occuper de la seconde, qui offre un peu plus de difficulté.

Nous remarquerons d'abord, que la droite projetée (*fig.* 111) par le point z, et la droite projetée (*fig.* 112) par z'', étant toutes deux dans le plan horizontal qui forme le lit supérieur de la seconde assise, se rencontreront en un point projeté horizontalement en z', et qui appartient à l'intersection des extrados des deux berceaux. L'arète d'extrados projetée en n'' (*fig.* 112), rencontrera l'extrados du grand berceau au point n, dont la projection horizontale n' fera encore partie de l'arètier extérieur.

Les points e', h', s'obtiendront de la même manière et l'on construira la courbe $z'h'$, qui représentera l'intersection des deux extrados. Nous dirons pour l'extrados ce que nous avons dit précédemment pour l'intrados. Les arètes des deux berceaux n'étant pas à la même hauteur ne se rencontreront pas; on les raccordera par le petit arc d'ellipse nv, $n'v'$, provenant de l'intersection de l'extrados du grand berceau par le plan de joint $2v''$ de la lunette. On construira la projection horizontale du point v, en le projetant d'abord en v'' (*fig.* 112), puis de là en v''', et le ramenant par un arc horizontal.

Enfin, on joindra les deux points v' c' par une ligne droite qui représente l'intersection des plans de joints des deux

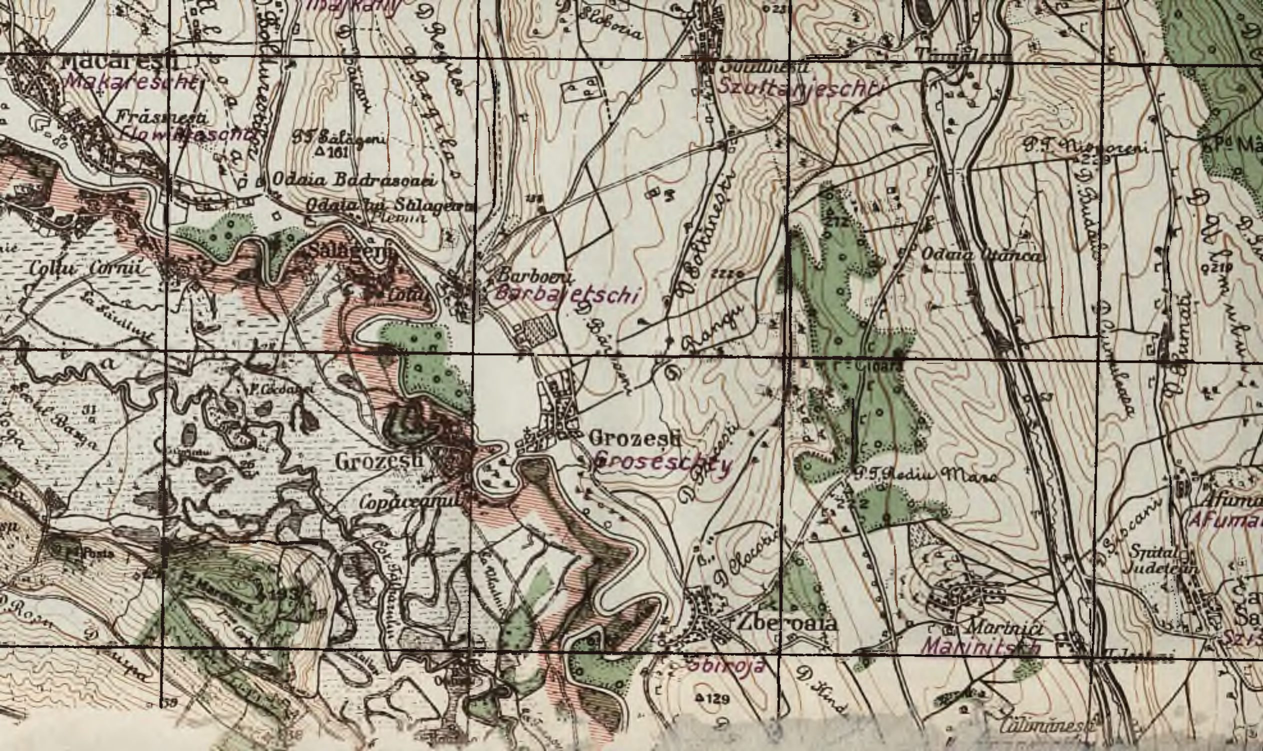
berceaux, et qui doit passer par le point C : ce qui complètera la projection horizontale de la seconde pierre.

On construira de la même manière les pierres supérieures, et l'on remarquera que chaque panneau de joint, excepté le premier, est limité 1°. par les deux arètes d'intrados et d'extrados, 2°. par l'intersection des plans de joint des deux berceaux, 3°. par les deux arcs d'ellipses suivant lesquelles ce plan de joint coupe les deux surfaces d'extrados et d'intrados du grand berceau. C'est surtout par ces deux arcs qu'une pierre de lunette diffère d'une pierre d'arètier ordinaire, comme il est facile de s'en convaincre par l'inspection des figures 115 et 116, comparées avec la figure 78 de la planche 6.

La figure 113 contient les panneaux de joints dans leur véritable grandeur. On suppose que l'on a fait tourner les plans de ces panneaux autour de l'axe BC de la lunette, pour les rabattre sur le plan horizontal de projection. Les longueurs sont données par la figure 110, et les largeurs par la figure 112. Les mêmes figures donnent aussi les longueurs et largeurs des panneaux de douelle, dont on a construit le développement (*fig.* 114).

Nous ne parlerons pas de la taille des deux premières pierres, pour lesquelles on opérera comme pour une voûte d'arète ordinaire.

Quant à la troisième pierre (*fig.* 117), on construira le parallélépipède suivant le panneau de projection horizontale; puis, après avoir taillé la douelle de la lunette et le plan du joint supérieur, on y appliquera les panneaux correspondans (*fig.* 113, 114), qui, avec le panneau de tête *cdov* (*fig.* 111), serviront à diriger les coupes de la portion de la pierre qui appartient au berceau AC; enfin, on évidera la pierre dans l'angle rentrant $nc'x$ formé par les plans des joints inférieurs, afin de pouvoir appliquer le panneau $22.c'v'n'n''$, donné par la figure 113. Il ne restera plus de difficulté pour les extrados, que l'on néglige même si souvent dans la pratique, ou que l'on ne taille qu'à peu près.



Macareşti
Makareschti
Frăsineşti
D. Sălcani
P. T. Sălăgeni
161
Odaia Badrasoaei
Odaia lui Sălageanu
Sălăgeni
Colţu Cornii
Colţu
Barboeni
Barbajetschi
D. Bărzoeni
V. Soltăneşti
222
Rangu
D. Sloboria
Sultanesti
Szultanjeschti
P. T. Nisiporeni
229
Odaia Oţănca
D. Budăuşa
D. Ciumuleasa
P. Cocoanei
Grozeşti
Grozeşti
Groseschty
D. Pleceşti
P. T. Rediu Mare
Copăceanul
Cot. Tălharului
La Vlădeni
Zberoaia
Sbiroja
D. Clocotici
129
Marinici
Marinitsch
Spital Judeţean
D. Sipcani
Afumaţi
Afumaţi
D. Lupa
D. Rogu
Cioara
Călimăneşti



